

Změny složení nárostů v závislosti na koncentraci fosforu ve floridských Everglades

Periphyton composition change along the phosphorus gradient in the Florida Everglades

Jan V y m a z a l¹⁾, Jaroslava K o m á r k o v á²⁾,
Klára K u b e č k o v á²⁾ & Jan K a š t o v s k ý²⁾

1) Říčanova 40, CZ-169 00 Praha 6

2) Hydrobotanický ústav AV ČR, Na Sádkách 7, CZ-370 01 České Budějovice

Abstract

Water Conservation Area 2A of the northern Everglades is the remnant of the vast sawgrass slough marsh that once stretched from Lake Okeechobee to the southern tip of Florida peninsula. WCA-2A covers an area of 450 km² and is surrounded by dikes. Water draining from agricultural areas in the Hillsboro Canal is periodically allowed to flow into WCA-2A through four water control gates on the northeast side. WCA-2A is periodically drained through gates on the southern side. These inputs of nutrient-laden water through the control gates for over 25 years have created a nutrient enrichment gradient in WCA-2A extending roughly north-to-south for 3-5 kilometers. Six plots were established along each of three transects running south from gates 10-A, 10-C and 10-D in 1990. The transects (north to south) were roughly parallel to the dominant water flow from the drainage canal gates located on the southern side of the Hillsboro Canal. Our present study was conducted along the C-transect. The distance of sampling points C1 to C6 from Hillsboro Canal was 0.68, 2.40, 4.09, 6.14, 7.99 and 9.84 km, respectively.

A total of 207 algal and cyanoprokaryotic species were found along C-transect nutrient gradient. The most species belong to Cyanoprokaryota (96), Bacillariophyceae (59), Conjugatophyceae (25) and Chlorophyceae (22). The highest value of fresh biomass was recorded at site C2; this value was significantly higher as compared to all other sites. The periphyton species composition changes along the transect. Sites C1 and C2, i.e., sites with the highest P concentrations, were dominated by filamentous Cyanoprokaryota (namely *Lyngbya* and *Phormidium*) and green algae (e.g., *Spirogyra* spp, *Mougeotia* spp. and *Oedogonium* spp.). Sites C5 and C6, i.e., unimpacted sites, were dominated by diatoms (namely *Mastogloia smithii*, *Nitzschia linearis*, *Rhopalodia gibba*).

Úvod

Everglades jsou v současné době mokřadním systémem o rozloze přibližně 5 000 km² (Obr. 1). Historicky se však Everglades rozprostíraly na ploše 11 000 km² od jižního pobřeží Lake Okeechobee až k jižnímu okraji floridského poloostrova. V roce 1907 však bylo zahájeno rozsáhlé odvodňování severní části této oblasti, kterým bylo 65% původní plochy vysušeno. Velkou

část této plochy (2 910 km²) tvoří nyní zemědělská půda. Tato oblast se nazývá „Everglades Agricultural Area“ (EAA) a téměř výhradně se používá pro pěstování cukrové třtiny. Současná plocha Everglades je rozdělena na severní „Water Conservation Areas 1-3“ (WCA), které zaujímají plochu 3 500 km² a „Everglades National Park“, který se rozprostírá na ploše 1 500 km² (Obr. 1)

Oblast WCA je ohraničena systémem náspů a kanálů, ze kterých se voda přečerpává do EAA. Tento systém byl dokončen začátkem 60.let (CRAFT & RICHARDSON 1993) a v současné době je severní část WCA, která sousedí na jihu s EAA, ovlivněna kvalitou vody, která z EAA přitéká, především pak zvýšenými koncentracemi fosforu (CRAFT et al. 1995, RICHARDSON & VAITHIYANATHAN 1995). Každoročně se v průměru dostává do oblasti WCA 429 tun fosforu, z čehož asi 40% je z dešťových srážek a zbytek přitéká z EAA. Původní Everglades byly ombrotrofní mokřad a zdroj vody tvořily jednak přímé dešťové srážky a jednak odtok z Lake Okeechobee, pro které byly a stále jsou, srážky jediným zdrojem vody.

Oblasti WCA byly vybudovány z několika důvodů: 1) zachytávání splachů z oblasti EAA, 2) ochrana před záplavami, 3) zachytávání přelivové vody z Lake Okeechobee v období dešťů, 4) zásobárna vody pro průmysl, zemědělství a obyvatelstvo v přilehlých, silně obydlených oblastech na východním pobřeží Floridy, 5) snížení vlivu hurikánem-indukovaných přílivových vln a 6) zásobárna vody pro Everglades National Park. WCA jsou „provozovány“ jako mělká nádrž povrchové vody.

Nejvýznamnějším biotopem jsou porosty trávy *Cladium jamaicense* (sawgrass), které zaujímají 65 až 70% plochy Everglades (LOVELESS 1959). Menší části tvoří *wet prairie* a *sloughs*. I když rozlohou nejsou velké, patří *sloughs* k nejvýznamnějším částem Everglades a jsou jedním z hlavních zdrojů primární produkce v celé oblasti Everglades. *Sloughs* se původně vytvořily v podmínkách velmi nízkých koncentrací živin ve vodě a dodnes jsou oblasti, které nejsou zatěžovány splachy ze zemědělství, limitovány právě nízkými koncentracemi fosforu. *Sloughs* jsou nejhlubšími biotopy v Everglades a prakticky nikdy nevysychají, na rozdíl od ostatních biotopů. Rostlinné společenstvo je poměrně druhově chudé a v oblastech, které nejsou zatíženy znečištěním, je tvoří především lekníny (*Nymphaea odorata*, výjimečně *N. luteum*), bahničky (především *Eleocharis cellulosa* a *E. elongata*, méně pak *E. interstincta*), bublinatky (*Utricularia fibrosa*, *U. purpurea* a *U. foliosa*) a cháry (VYMAZAL et al. 1994, VYMAZAL & RICHARDSON 1995).

Popis lokality

WCA-2A zaujímá plochu 450 km² (Obr. 2) a je ohraničena kanály. Drenážní a splachové vody z oblasti EAA jsou sváděny do Hillsboro kanálu (Obr. 2 a 3) a odtud jsou nepravidelně čerpány čtyřmi čerpacími stanicemi (10A, C, D a E) na severní straně WCA-2A. Na jižní straně WCA-2A je voda periodicky

odváděna do oblasti WCA-2B. Takto je značně eutrofizovaná voda z oblasti EAA čerpána více než 25 let, což mělo za následek vytvoření výrazného gradientu živin v sedimentech ve směru sever-jih (RICHARDSON & QIAN 1999).

V roce 1990 byly vytyčeny 3 transekty (A, C a D), které sledovaly základní směr průtoku vody oblastí WCA-2A (Obr. 3). Vzdálenost odběrových lokalit C1 – C6 od Hillsboro kanálu činí 0,68 – 2,40 – 4,09 – 6,14 – 7,99 a 9,84 km. Chemismus sedimentů a vody v daných lokalitách jsou uvedeny v Tab.1. Na jednotlivých lokalitách se výrazně liší složení vyšších rostlin. Na lokalitě C1 je dominantní rostlinou *Typha domingensis* (orobinec), na lokalitě C2 se začíná objevovat *Cladium jamaicense* (mařice jamajská), jejíž abundance je přibližně stejná jako u orobince. Od lokality C3 je *Cladium* již dominantní a lokality C5 a C6 jsou monotypická stanoviště mařice jamajské.

Odběr a zpracování vzorků

Na každé lokalitě bylo exponováno 20. 10. 1999 celkem 6 plastových mikroskopických skel. Sklíčka byla ponořena 10 cm pod hladinou a upevněna na plovácích, což umožňovalo konstantní ponor při kolísání výšky vodního sloupce. Jednotlivá skla byla rozložena v kruhu o poměru přibližně 30 m od středu. Skla byla exponována po dobu 47 dní, tj. do 6.12.1999 a transportována do laboratoře v plastových zkumavkách o objemu 50 ml v roztoku 1,5% formaldehydu.

Tab.1. Chemismus půdy (0-10 cm) a vody ve sledovaných lokalitách za období 1990-1999. V závorkách hodnoty z období říjen – prosinec 1999.

Tab.1. Chemistry of soil (0-10 cm) and water in studied localities in the period 1990-1999. Values from the period October – December 1999 in parentheses.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
<i>Půda</i>						
Pcelk. (mg/kg)	1840	1292	924	709	443	441
<i>Ncelk.</i>						
(% sušiny)	3,09	3,13	3,84	3,42	3,30	3,40
Ca (g/kg)	50,8	36,7	24,5	33,9	34,4	36,9
<i>Voda</i>						
Pcelk. (μg/l)	85,5 (51,8)	52,4 (33,3)	27,0 (13,6)	21,9 (6,2)	14,2 (5,8)	10,8 (4,4)
PO ₄ -P (μg/l)	32,7 (26,2)	15,0 (11,6)	8,3 (4,7)	7,5 (3,7)	7,2 (3,0)	8,3 (3,3)
Ncelk (mg/l)	2,4 (1,6)	2,1 (1,8)	1,9 (1,7)	1,8 (1,2)	1,7 (1,5)	1,7 (1,2)
NH ₄ -N (μg/l)	64,7	33,7	27,4	24,5	25,4	51,9
Ca (mg/l)	79,0	71,6	71,9	71,2	68,7	69,7
<i>Prům. hloubka</i>						
(cm)	37,8	42,3	45,5	32,8	33,8	37,8

Nárosty byly v laboratoři zbaveny kalcifikovaných vrstev pomocí 10% kyseliny citrónové a poté homogenizovány. Objem mokré biomasy byl určen na základě nového programu, který kombinuje tradiční počítání jednotlivých buněk a počet překřížení daných linií pro vláknité organismy (KOMÁRKOVÁ & NEDOMA, in prep.). Tento program dále pracuje s 13 rovnicemi, které aproximují tvar a objem buněk různých tvarů (VYMAZAL et al. 2000). Výsledky byly rozděleny do dvou hlavních skupin: podle morfologie a podle taxonomických skupin. Pro potřeby morfologického dělení byly zvoleny tyto skupiny: buňky $< 5 \mu\text{m}$, buňky $> 5 \mu\text{m}$, vlákna s šířkou $< 3 \mu\text{m}$, vlákna s šířkou $> 3 \mu\text{m}$ a kolonie.

Výsledky a diskuse

Na sklíčkách bylo nalezeno celkem 207 druhů sinic a řas, přičemž nejhojněji byly zastoupeny sinice (Cyanoprokaryota, 96 druhů), rozsivky (Bacillariophyceae, 59 druhů), spájkivky (Conjugatophyceae, 25 druhů) a vlastní zelené řasy (Chlorophyceae, 22 druhů).

Největší biomasa nárostů byla zaznamenána na lokalitě C2 ($32,6 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$, Obr. 4), a tato hodnota byla významně vyšší ($p < 0,05$) než na všech ostatních lokalitách. Biomasa nárostů na všech ostatních lokalitách kolísala v rozmezí $2,26$ a $7,08 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$. Z obrázku je patrné, že na lokalitách C1 a C2 tvoří největší část biomasy vlákna širší než $3 \mu\text{m}$ (zastoupená především zástupci rodů sinic *Lyngbya*, *Phormidium*, *Spirogyra*, *Mougeotia* a *Oedogonium*), zatímco na druhém konci transektu (lokalita C6) výrazně stoupl podíl buněk $> 5 \mu\text{m}$ (hlavní zástupci této skupiny byly rozsivky *Mastogloia smithii*, *Nitzschia lineatris*, *Rhopalodia gibba*, *Synedra ulna* a desmídie *Cosmarium* spp. a *Staurostrum* spp.). Ve střední části transektu (C3-C5) bylo procentické zastoupení hlavních forem, tj. buněk $> 5 \mu\text{m}$ a vláken širších než $3 \mu\text{m}$ vyrovnané. V Tab.2 je pak uvedeno procentické zastoupení jednotlivých morfologických skupin.

Tab.2. Podíl jednotlivých morfologických skupin na celkové mokré biomase nárostů (vyjádřeno v procentech).

Tab. 2. Fresh mass of individual life forms expressed as percentage of total fresh mass.

Lokalita	C1	C2	C3	C4	C5	C6
vlákna $> 3 \mu\text{m}$	69,9	90,2	43,6	49,9	47,3	20,4
vlákna $< 3 \mu\text{m}$	4,6	3,4	3,3	8,1	7,0	3,8
buňky $> 5 \mu\text{m}$	23,9	6,3	52,8	41,1	45,4	75,4
buňky $< 5 \mu\text{m}$	0,2	0,1	0,2	0,8	0,1	0,2
kolonie	1,4	0	0,1	0,1	0,2	0,2

Na Obr.5 je znázorněno rozložení biomasy nárostů podle jednotlivých taxonomických skupin. Vzhledem k tomu, že biomasa druhů patřících do tříd Euglenophyceae, Dinophyceae, Xanthophyceae, Chrysophyceae a řádů Nostocales a Chroococcales byla zanedbatelná (< 0,1% celkové biomasy), jsou v grafu uvedeny pouze tyto taxonomické skupiny: třídy Chlorophyceae, Conjugatophyceae a Bacillariophyceae a řád Oscillatoriales. Výsledky uvedené na Obr.5 korespondují s výsledky uvedenými na Obr. 4, tj. přechod od dominance vláknitých forem (reprezentovaných sinicemi řádu Oscillatoriales a vláknitými spájkivkami třídy Conjugatophyceae) k dominanci jednobuněčných organismů reprezentovaných především rozsivkami (Bacillariophyceae).

V Tab.3 je znázorněno procentické zastoupení jednotlivých taxonomických skupin v celkové biomase nárostů. Výsledky korespondují s rozložením morfologických skupin. Na začátku transektu dominují sinice řádu Oscillatoriales a vlákna třídy Conjugatophyceae, zatímco na konci transektu jednoznačně převládají rozsivky.

Tab.3. Podíl jednotlivých taxonomických skupin na celkové mokré biomase nárostů (vyjádřeno v procentech).

Tab.3. Fresh mass of individual taxonomic groups expressed as percentage of total fresh mass.

Lokalita	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Chlorophyceae	10,8	12,3	25,4	10,1	5,7	14,2
Conjugatophyceae	14,1	14,4	8,1	36,5	23,4	1,2
Bacillariophyceae	11,2	2,6	27,8	25,4	43,1	71,0
Cyano-Oscillatoriales	61,6	70,0	37,6	21,9	26,2	12,0
Cyano-Nostocales	0,5	0,6	0,8	1,2	1,4	0,6
Cyano-Chroococcales	1,2	0,1	0,3	4,9	0,2	0,1

Uvedené výsledky ukazují, že složení nárostů se výrazně mění podél sledovaného transektu. Je však nutné vzít v úvahu fakt, že studie se zabývala nárosty na plastových sklíčkách, která nemusí vždy reprezentovat kompletní složení nárostů rostoucích na přirozených podkladech. Dalším faktem, který je nutno vzít v úvahu je skutečnost, že kromě chemického složení vody může složení nárostů ovlivňovat i intenzita světla, která značně kolísá v důsledku odlišného složení vyšších vodních rostlin na daných stanovištích.

Výsledky této studie se shodují s literárními údaji o WCA-2A (např. BROWDER et al. 1994, MCCORMICK & STEVENSON 1998), tj. dominanci rozsivek (především *Mastogloia smithii*) v oligotrofních oblastech a zelených vláknitých řas v eutrofních oblastech (např. *Spirogyra* sp.). Na rozdíl od předchozích studií však tato práce prokázala hojný výskyt vláknitých sinic (především rod *Lyngbya*) v eutrofních oblastech. Dalším rozdílem byl minimální záchyt sinic rodu *Scytonema*, který je považován za nejčastěji se vyskytující rod sinic

v oligotrofních částech Everglades (BROWDER et al. 1994). Jelikož sinice rodu *Scytonema* byly nalézány v nárostech na přirozených podkladech (VYMAZAL et al. 2000), lze usuzovat, že expoziční doba 47 dní je příliš krátká pro rozvoj těchto sinic na plastových sklech. Dalším důvodem může být neschopnost těchto sinic růst na tomto podkladu.

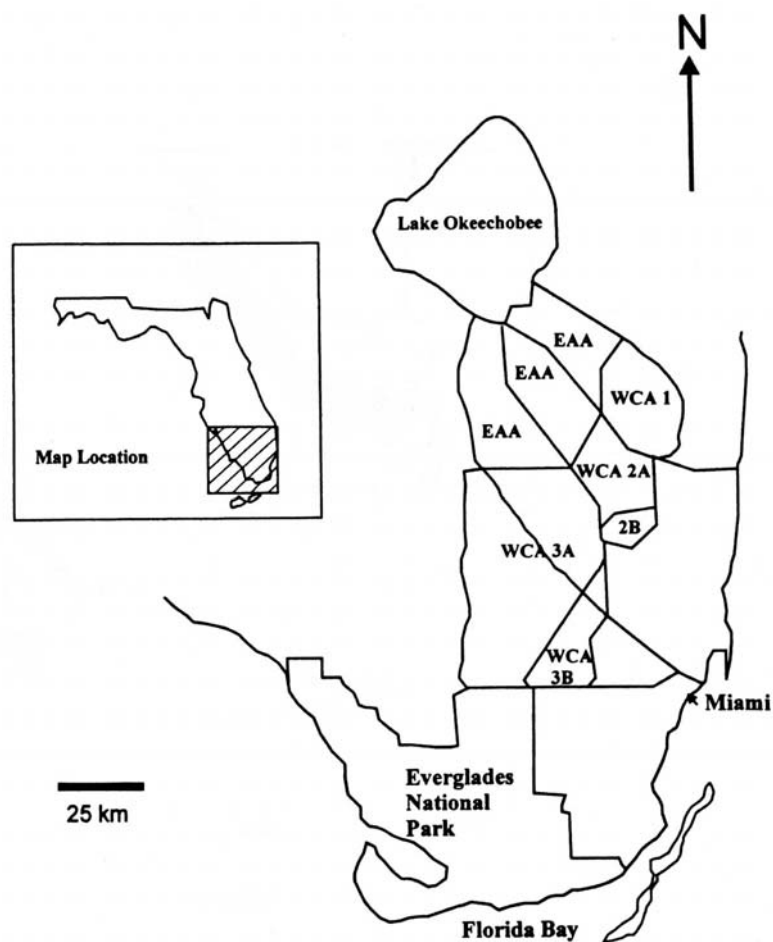
Závěr

- Celkem bylo identifikováno 207 druhů řas a sinic. Nejvíce druhů patřilo mezi sinice (96), rozsivky (59), spájkivky (25) a vlastní zelené řasy (22).
- Největší biomasa nárostů byla zaznamenána na lokalitě C2; biomasa byla významně vyšší než na ostatních lokalitách.
- Podél transektu se mění složení nárostového společenstva. Na lokalitách C1 a C2, tj. na lokalitách s nejvyššími koncentracemi fosforu, byla zaznamenána výrazná dominance vláknitých sinic (především rodů *Lyngbya* a *Phormidium*) a zelených řas (spájkivky *Spirogyra* spp, *Mougeotia* spp. a vlastní zelená řasa *Oedogonium* sp.). Na lokalitách C5 a C6, tj. v oligotrofních a splachy neovlivněných částech, byla zaznamenána výrazná dominance rozsivek (např. *Mastogloia smithii*, *Nitzschia linearis*, *Rhopalodia gibba*).

Literatura

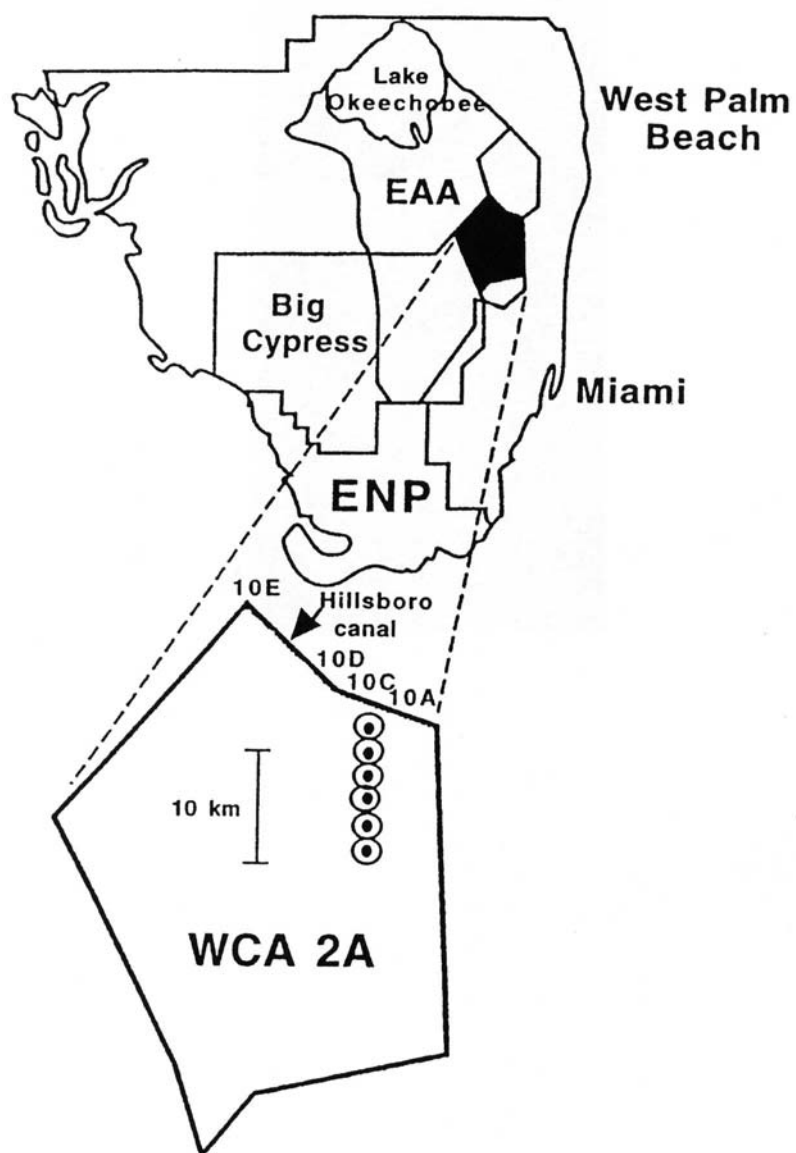
- BROWDER, J.A., GLEASON, P.J. & SWIFT, D.R. (1994): In: DAVIS, S.M. & OGDEN, J.C. (ed.): Everglades-The ecosystem and its restoration, St. Lucie Press, Delray Beach, 379-418.
- CRAFT, C.B. & RICHARDSON, C.J. (1993): Peat accretion and phosphorus accumulation along a eutrophication gradient in the northern Everglades. – Biogeochemistry 22: 135-156.
- CRAFT, C.B., VYMAZAL, J. & RICHARDSON, C.J. (1995): Response of Everglades plant communities to nitrogen and phosphorus additions. – Wetlands 15: 258-271.
- LOVELESS, C.M. (1959): A study of the vegetation in the Florida Everglades. – Ecology 40: 1-9.
- MCCORMICK, P.V. & STEVENSON, R.J. (1998): Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. – J. Phycol. 34: 726-733.
- RICHARDSON, C.J. & VAITHIYNATHAN, P. (1995): Phosphorus sorption characteristics of Everglades soils along a eutrophication gradient. – Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1782-1788.
- RICHARDSON, C.J. & QIAN, S.S. (1999): Long-term phosphorus assimilative capacity in freshwater wetlands: a new paradigm for sustaining ecosystem structure and function. – Environ. Sci. Technol.: 1545-1551.
- VYMAZAL, J. & RICHARDSON, C.J. (1995): Species composition, biomass and nutrient content of periphyton in the Florida Everglades. – J. Phycol. 31: 343-354.
- VYMAZAL, J., CRAFT, C. B. & RICHARDSON, C. J. (1994): Periphyton response to nitrogen and phosphorus additions in Florida Everglades. – Algological Studies 73: 75-93.
- VYMAZAL, J., KOMÁRKOVÁ, J., KUBEČKOVÁ, K., KAŠTOVSKÝ, J. & BASTL, M. (2000): Species composition of periphyton growing on artificial substrata along

the C-transect of the Everglades WCA-2A. Part 2: Periphyton biovolume-biomass. - Závěrečná zpráva pro Duke University Wetland Center, Nicholas School of the Environment and Earth Sciences, Durham, Severní Karolína, 69 pp.

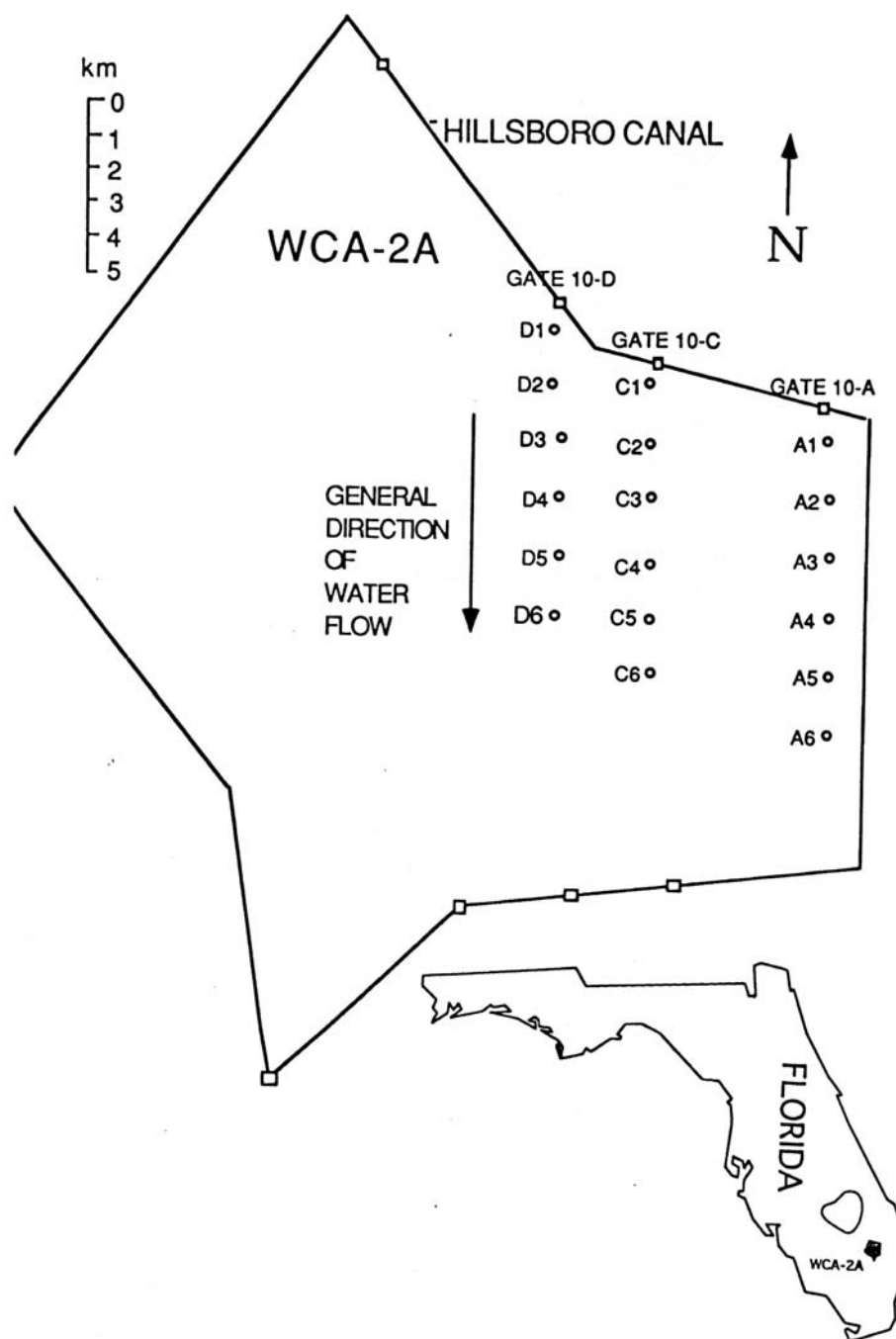


Obr.1. Mapka jižní Floridy znázorňující Everglades Agricultural Area (EAA), Water Conservation Areas (WCAs) a Everglades National Park.

Fig. 1. Location of Everglades Agricultural Area (EAA), Water Conservation Areas (WCAs) a Everglades national Park in South Florida.

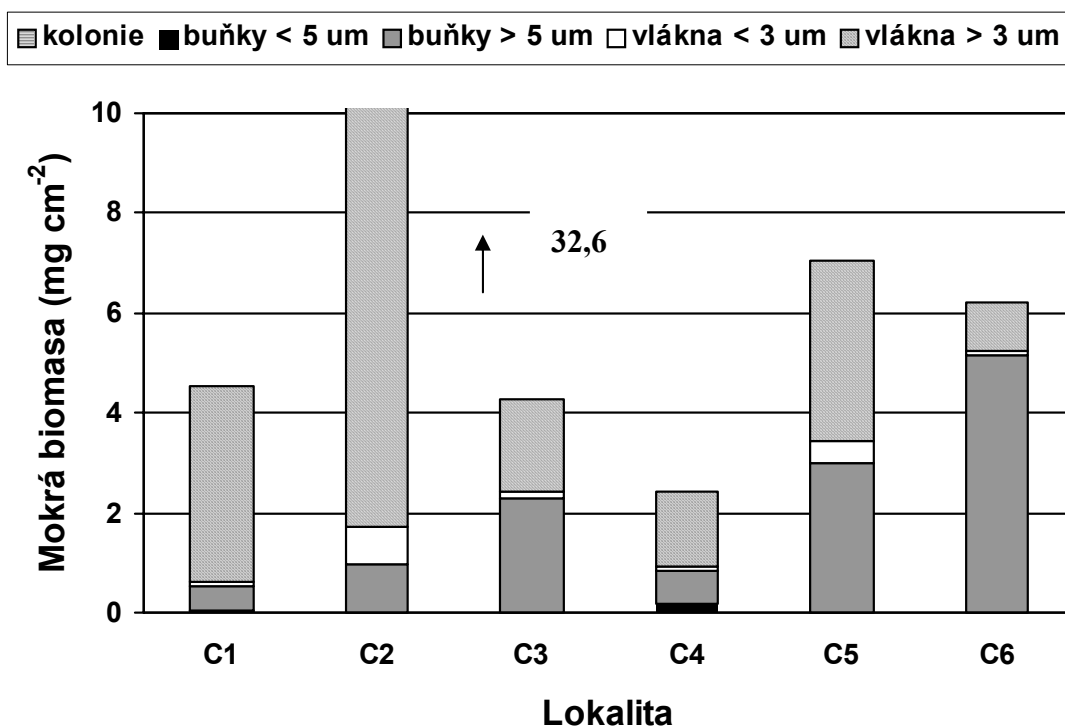


Obr. 2. Water Conservation Area 2A.
Fig. 2. Water Conservation Area 2A.



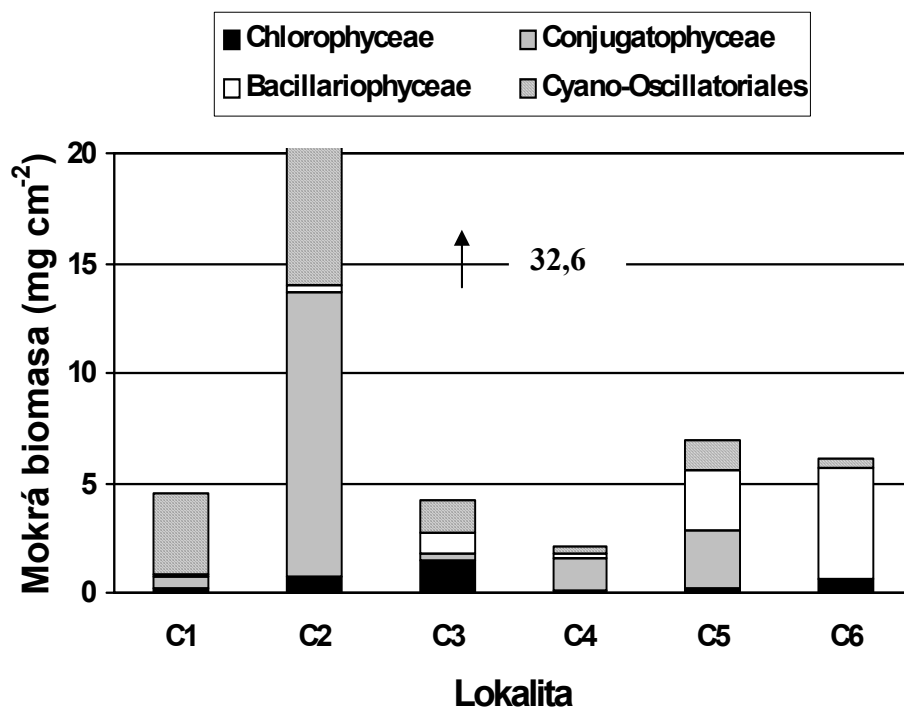
Obr. 3. Odběrové lokality v oblasti WCA-2A

Fig. 3. Sampling sites at WCA-2A.



Obr. 4. Biomasa jednotlivých morfologických skupin nalezených podél C-transektu.

Fig. 4. Fresh mass of various life forms recorded at sampling sites along the C-transect.



Obr. 5. Biomasa jednotlivých taxonomických skupin nalezených podél C-transektu.

Fig. 5. Fresh mass of various taxonomic groups recorded at sampling sites along the C-transect.